



VATh- Richtlinie: Elektrothermografie

zur Planung, Durchführung und Dokumentation
infrarotthermografischer Messungen an elektri-
schen Anlagen und Bauteilen in Hochspannungs-
anlagen
> 1kV

VATh- Directive: Electrical thermal imaging

Planning, realization and documentation of infrared measurements in electrical systems and components > 1kV.

Directive du VATh: Thermographie électrique

Pour la planification, réalisation et documentation de mesures infrarouges d'installations et d'équipements électrotechniques > 1kV

Hochspannung

(größer 1 kV AC oder 1,5 kV DC)

Haute tension

(Tension supérieure à 1 kV ca et 1,5 kV cc)

Erläuterungen zur Richtlinie:

Diese Richtlinie dient als Hilfestellung, Information und Übersicht zur Planung, Durchführung und Dokumentation infrarotthermografischer Messungen an elektrischen Anlagen und Bauteilen der Mittel- und Hochspannung.

Diese Richtlinie stellt in ihrer Fassung den aktuellen Stand der Technik dar.

Explications concernant la directive:

Cette directive sert de support, d'aperçu et de guide pour la planification, la réalisation et la documentation des mesures infrarouges d'installations et d'équipements électrotechniques dans le domaine Haute-Tension (HTA et HTB).

Cette directive est la version de l'état actuel de la technique.

Diese Richtlinie besteht aus 9 Seiten

VATH- Richtlinie: „Elektrothermografie, Teil A: Hochspannung (HS)“

Fassung von 2022

Herausgeber:

Bundesverband für Angewandte Thermografie e.V.

Am Herrenwäldchen 6

D-90482 Nürnberg

Tel.: +49(0)911/95338260

E-Mail: post@vath.de

© Alle Rechte beim Bundesverband für Angewandte Thermografie e.V.

Die Angaben in dieser Richtlinie stützen sich auf den derzeitigen Stand unserer Kenntnisse. Der Bundesverband kann jedoch keinerlei Haftung übernehmen. Vorschläge oder Einwände, die ggf. bei einer Neuauflage berücksichtigt werden können, sind an die Geschäftsstelle des Verbandes zu richten.

Bei Streitfällen ist die deutsche Fassung gültig.

1. Ausbildung	Seite 3
2. Gesundheit	Seite 3
3. Sicherheitsabstände	Seite 4
4. Schutzausrüstung	Seite 4
5. Vorschriften	Seite 4
6. Ablauf	Seite 4
7. Messtechnik	Seite 5 - 6
8. Auswertesoftware	Seite 6
9. Auswertung	Seite 6
10. Basisdokument	Seite 6
11. Auswertungsdokument	Seite 7
12. Fehlergruppeneinteilung	Seite 7 - 9

1. Ausbildung

Folgende Ausbildungsgrundlagen müssen vorhanden sein und stellen die Ausbildungsbasis dar:

- a) Abgeschlossene Ausbildung im Bereich der Elektrotechnik mit der Qualifikation als Geselle, Meister, Techniker oder Ingenieur. Für Ingenieure von Hoch- und Fachschulen ohne Ausbildung als Elektrofachkraft wird ein Nachweis als Elektrofachkraft nach DIN VDE 1000-10 / 4.2 gefordert.

- b) Mindestens 2- jährige Berufserfahrung im Bereich der Elektrothermografie und mehrjährige Tätigkeit im Bereich der Elektrotechnik laut VDE1000-10 / 4.2 (Anmerkung: mehrjährige Tätigkeit auf dem betreffenden Arbeitsgebiet)

Grundsätzlich ist mindestens die Stufe 1 nach DIN EN ISO 9712*, Sektor Elektro, nachzuweisen, sowie ein Ausbildungslehrgang im Bereich der elektrischen Bauteilkunde incl. der thermografischen Bewertung zu absolvieren. Entsprechend den Richtlinien für Personal der zerstörungsfreien Prüfung dürfen Personen die Messungen und Auswertungen nur ohne Aufsicht einer Stufe 2 oder 3 zertifizierten Person durchführen, wenn sie nach DIN EN ISO 9712*, Sektor Elektro, Stufe 2 oder Stufe 3 zertifiziert sind.

Durch ein generell erhöhtes Brandrisiko in den Unternehmen muss die zu prüfende Person Erwärmungen an Bauteilen und Verbindungen sicher beurteilen können. Daher sollten also auch nur die Personen Elektroanlagen untersuchen, welche entsprechend den Forderungen der Versicherungswirtschaft, das Zertifikat "Elektrothermograf, Stufe 2 nach DIN EN ISO 9712" oder "VdS anerkannter Sachverständiger für Elektrothermografie" vorweisen können.

2. Gesundheit

Vorlage einer Sehfähigkeitsbescheinigung gemäß DIN EN ISO 9712, der im Zyklus von einem Jahr erneuert werden muss.

Es wird darauf hingewiesen, dass im Bereich der Elektrothermografie erhöhte gesundheitliche Risiken bestehen. Dies sollte besondere Beachtung finden, bei Personen mit Herzschrittmachern und bei Personen die zu Schwindel- oder Epilepsieanfällen neigen. Hochspannungsanlagen dürfen durch Personen mit Herzschrittmachern nicht betreten werden.

3. Sicherheitsabstände

Eine Thermografie stellt gemäß Definition der Tätigkeitsbegriffe eine elektrotechnische Arbeit dar. Bei der Arbeitsmethode handelt es sich um „Arbeiten in der Nähe unter Spannung stehender Teile“.

Für eine Elektrofachkraft, eine elektrotechnisch unterwiesene Person oder eine unter deren Aufsicht arbeitende Person sind abhängig von der Betriebsspannung Sicherheitsabstände einzuhalten. Demnach ist bis zu einer Nennspannung von 30 kV ein Schutzabstand von 1,5 m einzuhalten. Über 30 kV bis 110 kV ergibt sich ein wenigstens einzuhaltender Schutzabstand von 2,0 m. Die Spannungsebenen 110 kV – 220 kV und 220 kV – 380 kV sind hinsichtlich des erforderlichen Schutzabstandes, ausgehend von den vorgenannten 2,0 m, um jeweils einen Meter zu erweitern.

4. Schutzausrüstung

Der Thermograf hat die nach den gültigen UVV und sonstiger gültiger Vorschriften vorgeschriebene persönliche Schutzausrüstung zur eigenen Sicherheit zu benutzen, bzw. vorzuhalten.

5. Vorschriften

Grundsätzlich sollte das Thermografie-Personal, welches die elektrischen Anlagen überprüft, unabhängig (kein betriebseigenes Personal) sein. Damit soll gewährleistet werden, dass keine negative Einflussnahme eines Vorgesetzten oder der Geschäftsleitung auf die Überprüfung stattfindet. Hier sollte die Sicherheit bzw. der Brandschutz Vorrang haben.

6. Ablauf

Der zertifizierte Thermograf führt die Überprüfung, wenn möglich mit einer Elektrofachkraft des zu überprüfenden Betriebes / Energieversorgungsunternehmens durch.

Die infrarotthermografische Überprüfung der elektrischen Anlagen stellt generell eine Momentaufnahme zum Zeitpunkt der Prüfung dar. Bei der Überprüfung sollte die elektrische Anlage mit mindestens 10% der Nennlast belastet sein. Bei geringen Lastverhältnissen ist es möglich, dass nicht alle Fehler erkannt werden. Eine turnusmäßige Überprüfung ist daher sinnvoll, um die statistische Sicherheit zu erhöhen. Als Resultat der infrarotthermografischen Messungen empfiehlt sich eine Gefährdungsbeurteilung durch den Auftraggeber.

7. Messtechnik

Die eingesetzte Infrarot-Kamera muss aus einem bildgebenden Messsystem bestehen und nachfolgende Kriterien erfüllen:

Spektralbereich: sowohl der mittelwellige (2- 5 μ m) als auch der langwellige (7- 12 μ m) Spektralbereich ist nutzbar

Temperaturmessbereich: - 20°C bis + 500°C

Einsatzbereich: - 10°C bis + 40°C

Bauform: Ein getrenntes Kamera/Bedienkonzept (Monitor und Fernbedienung bzw. Klappmonitor) ist notwendig, um Messungen auch in schlecht zugänglichen Anlagen durchführen zu können. Um auch bei hellen Umgebungsbedingungen kleine Fehlerstellen in großen Messentfernungen sicher lokalisieren zu können, ist besonders bei Hochspannungsanlagen im Außenbereich ein Okular zwingend erforderlich.

Objektive: Die für die Messaufgabe notwendigen Objektive wie Weit-, Normal- und Teleobjektive sind einzusetzen. Bei Messungen an Hochspannungsanlagen sind, entsprechend der Messentfernungen und der Kamertechnik, zwischen 12° und 7° Teleobjektive zwingend erforderlich.

Thermische Auflösung: < 100 mK bei 30°C Objekttemperatur
(Empfehlung: \leq 60 mK)

Geometrische Auflösung: \leq 1,3 mrad bis 10m Messentfernung
 \leq 0,5 mrad bis 25m Messentfernung
 \leq 0,3 mrad ab 25m Messentfernung (z.B. Freileitungen)

Detektorauflösung: \geq 320 x 240 Pixel

Zeitliche Auflösung: min. 20 Hz

Messgenauigkeit, absolut: \pm 2.0 K bis 120°C; >120°C: \pm 2%

Bedienfunktionen:	Fokussierungsmöglichkeit, Freeze- Modus, Farb- und s/w- Darstellungen, Messfunktion, Emissionswerteingabe, Abstands-, - Umgebungstemperatur- und Feuchteingabe, Visualisierung auf Display oder Monitor, Speicherung von u. a. radiometrischen Daten. Ein autonomer Betrieb durch Akku ist notwendig.
Kalibrierung:	Externe Werkskalibrierung Interne (automatische) Vergleichsmessung Eine Überprüfung der Kalibrierung muss turnusmäßig jährlich erfolgen und dokumentiert werden.

8. Auswertungssoftware

Der Sachverständige muss über eine geeignete Software verfügen, die eine nachträgliche Bearbeitung der Infrarotbilder ermöglicht. Das Verändern von Parametern zum Zweck der Überführung von Strahlungsdichtewerten auf eine Temperatur und deren Kennzeichnung muss nachträglich möglich sein.

9. Auswertung

Die Auswertung besteht aus einem **Basisdokument** und den eigentlichen **Auswertungsdokumenten**. Die Art und Form der Dokumentationsunterlagen bleiben dem Thermografie-Büro überlassen. Es müssen jedoch die unten aufgeführten Daten bzw. Anmerkungen enthalten sein.

10. Basisdokument

Es müssen die folgenden Daten auf dem Basisdokument vorhanden sein:

1. Name des ausführenden Thermografen und der beteiligten Personen
2. Das eingesetzte Kamerasystem mit den eingesetzten Optiken
3. Der Prüftermin
4. Ort des überprüften Firmensitzes bzw. Werkes oder des Energieversorgungsunternehmens
5. Die Zielsetzung des Auftrages
6. Bei Außenaufnahmen die Witterungsverhältnisse (einschließlich Lufttemperatur in °C, relative Luftfeuchte in %, Wind in m/s, ggf. Globalstrahlung in W/m²)

11. Auswertungsdokument

Für jede Auffälligkeit muss mindestens eine gesonderte Seite verwendet werden. Jeder der unten aufgeführten Punkte muss dem entsprechenden Thermogramm **eindeutig** zugeordnet werden können.

1. Das Thermogramm mit dem Aufnahme- Datum, der Aufnahme- Zeit und einer Dateibezeichnung.
2. Die genaue Objektbeschreibung (Umspannwerk, Schaltfeld, Spannungsebene, Bauteil).
3. Es muss sichergestellt werden, dass der Kunde den Fehler eindeutig erkennen und zuordnen kann.
4. Ein Sichtfoto mit dem identischen Bildausschnitt des Thermogramms
5. Die vorhandenen Temperaturen der Fehlerstelle (es muss dem Kunden möglich sein, die Temperaturen nachzuvollziehen).

Weiterhin gehören zu einer Auswertung eine Auflistung aller überprüften Anlagen, eine Fehlerzusammenstellung, eine Beschreibung des Prüfungsablaufes sowie Anmerkungen und Empfehlungen des Thermografen.

Auf jeden Fall müssen diejenigen Anlagen bzw. Anlagenteile dokumentiert werden, die Schwachstellen aufweisen.

12. Fehlergruppen-Einteilung

Bei allen Einteilungen der Fehlergruppen sind die Strombelastungen mit zu berücksichtigen! Das ΔT bezieht sich auf die Temperatur des gesunden Leiters zu der thermischen Schwachstelle.

Einteilung in Fehlergruppen der Hochspannungsanlagen bei Hochrechnung auf Nennlast (Schaltfeldstrom, Engpassstrom, Grenzstrom)

	Fehlergruppeneinteilung bei ermittelter Übertemperaturen ΔT in K bei Hochrechnung auf Nennlast			
Temperatur-einteilung	$0 \text{ K} < \Delta T < 10 \text{ K}$	$10 \text{ K} < \Delta T < 35 \text{ K}$	$35 \text{ K} < \Delta T < 70 \text{ K}$	$\Delta T > 70 \text{ K}$
Fehlergruppe	Fehlergruppe 1	Fehlergruppe 2	Fehlergruppe 3	Fehlergruppe 4
Maßnahmen	keine akuten Maßnahmen, Fehlerstelle aber beobachten	Überprüfung der Ursachen einschließlich Beseitigung bei der nächsten Wartung	Überprüfung der Ursachen einschließlich Beseitigung bei einer Abschaltung, mindestens < 1 Monat	kurzfristige Außerbetriebnahme, Überprüfung der Ursache einschließlich Beseitigung, Belastungen ggf. verringern

Einteilung der Fehlergruppen bei einer bekannten Strombelastung zum Nennstrom:

Verschraubte Verbindungen in Luft aus Kupfer, Aluminium und deren Legierungen, unabhängig davon, ob versilbert, vernickelt oder verzinkt

Belastung in % des Nennstromes	Fehlergruppe der Übertemperatur – zur Betriebstemperatur - ΔT in K in Abhängigkeit zur Strombelastung			
	0 K < ΔT < 10 K	10 K < ΔT < 35 K	35 K < ΔT < 70 K	ΔT > 70 K
bis 50 %	1	3	4	4
50% bis 75%	1	2	3	4
75% bis 100%	1	1	2	4

Bewegliche Kontakte in Luft aus Kupfer, Aluminium und deren Legierungen, unabhängig davon, ob versilbert, vernickelt oder verzinkt

Belastung in % des Nennstromes	Fehlergruppe der Übertemperatur – zur Betriebstemperatur - ΔT in K in Abhängigkeit zur Strombelastung		
	< 10 K	10 K bis < 35 K	> 50 K
bis 50 %	1	3	4
über 50%	1	2	4

Kontakte in geschlossenen Geräten in Öl oder SF₆

Bei geschlossenen Geräten dient die Messung der Oberflächentemperatur als Anhaltspunkt für die im inneren auftretenden Werte

Grundsätzlich gilt:

1. Die Absoluttemperatur des Öls darf 90 °C nicht überschreiten
2. Der Druck des SF₆- Gases* muss unterhalb des oberen Grenzwertes liegen
3. Je kleiner der Betriebsstrom und je höher die Oberflächentemperatur eines Gerätes ist, umso dringlicher sind Abhilfe-Maßnahmen

*: SF₆-Gas stellt ein extrem klimaschädliches Gas dar. Deshalb muss bei nachgewiesener Undichtigkeit der Anlage die Örtlichkeit der Leckage(n) möglichst schnell ermittelt werden. Hierzu existiert speziell ausgelegte Infrarot-Kameratechnik, mit deren Hilfe eine präzise Ortung der Leckagen erfolgen kann.

Grenztemperaturen von Isolierstoffen

Für Isolierstoffe, welche sich im Innern von elektrischen Anlagenteilen und elektrischen Maschinen befinden, kann zur Beurteilung der gemessenen Oberflächentemperatur bzw. der Oberflächentemperaturverteilung die Isolierstoffklasse der betreffenden Objekte hinzugezogen werden. Thermische Klassen für Isolierstoffe sind mit Buchstaben kodiert, welche in der Reihenfolge steigender Temperatur mit Y – A – E – B – F – H – N – R gekennzeichnet sind. Die niedrigste Grenztemperatur weist die Isolierstoffklasse Y mit 90°C auf. Ihr folgen die Klassen A und E mit einer jeweils 15 Kelvin höheren Grenztemperatur. Während die Isolierstoffklassen B und F Grenztemperaturen von 130°C bzw. 155°C aufweisen, erfolgt ab der Klasse H beginnend mit 180°C eine Erhöhung der Grenztemperatur um jeweils 20 Kelvin zur nächst höheren Isolierstoffklasse.